

# 誤差鈍感性を考慮した空間歯車の構成法に関する研究

著者	大泉 哲哉
号	863
発行年	1981
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/9599">http://hdl.handle.net/10097/9599</a>

氏 名	おお 泉 哲 哉
授 与 学 位	工 学 博 士
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 57 年 3 月 25 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 1 項
研究科，専攻の名称	東北大学大学院工学研究科 (博士課程) 精密工学専攻
学 位 論 文 題 目	誤差鈍感性を考慮した空間歯車の構成法に関する 研究
指 導 教 官	東北大学教授 酒井 高男
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 酒井 高男      東北大学教授 高梨 三郎 東北大学教授 戸部 俊美      東北大学教授 槌川 武男

## 論 文 内 容 要 旨

従来，歯車歯形論の対象となってきたのは，主に線接触噛合いをする歯車対である。しかし実際には，避け難い種々の誤差があるために，厳密な線接触噛合いは望めず，程度の差こそあれ角当りが生じる。そこで動力伝達用の歯車対では，種々の誤差があっても角当りを起さず，その上伝達回転角誤差の変動も小さくなるように，すなわち誤差鈍感性を与えるように，歯面を修正して実用するのがふつうである。このような歯面修正を施すと，歯車対は点接触歯車対あるいは点接触のひっかかり車対になる。

この種の歯車対を設計するとき，要求される誤差鈍感性に対し如何なる歯面形状が適当であるのか，さらにその歯面形状をどのようにして作るのかが問題である。この問題のなかの誤差鈍感性と歯面形状の関係については，歯車対の形式，およその諸元，鈍感性が要求される誤差の種類，および加工方法まである程度限定されてはじめて詳細に調べることができる。殊に加工方法との関連においてこの問題を論ずることは工学的に重要である。ところが加工方法や歯面修正の方法はおろか，点接触歯車対の構成法すら，いまだに思いつきや経験的手法にとどまっている。横田によってなされた点接触歯車対の体系的な研究<sup>2)</sup>は，その理論が，一般に馴染みのない直線幾何学の概念などを用いたものであるため，いまだ十分に活用されていないようである。そこで，横田の方法よりも直観的で実用的な構造をもつ，点接触歯車対の一般的な構成法をまず開発する必要があると考えた。

以上の考えのもとに開発した、本論文における構成法は、作ろうとする一對の被削歯車の各々に対し刃物歯車を設け、合計4つの歯車の間を媒介歯車<sup>1)</sup>で関係づけたものである。そのため、線接触歯車対の取り扱いに馴れた技術者にとって、この構成法は、単純かつ直観的な構造を持つ。他方、この構成法の観点に立てば、従来用いられてきた点接触化法や点接触歯車対を統一的に論ずることができる。

本論文は、第1章から第3章までの基礎理論編と、第4章から第6章までの応用編からなる。

## 緒 論

ここでは、誤差鈍感性を持つ歯車対の必要性和、このような歯車対を得るために、一般的な点接触歯車対のより明解な構成法を究明する必要があることを述べた。また、歯車対の基本が線接触噛合いにあって、点接触歯車対の構成法も線接触歯車対を基本にして組み立てるべきであるという、筆者の考え方を述べた。

### 第1章 媒介歯車を仲介とする点接触歯車対の構成法

本章は構成法の基本的構造を明らかにするものである。まず一對の歯車によって規定される一群の媒介歯車を、本論文では「歯車系」と名づけた。また、ひとつの歯車を共有するふたつの歯車系を考え、ここで共有される歯車をあらためて媒介歯車と呼ぶことにした。そして、ふたつの歯車系の一方を刃物歯車系  $S_C$ 、他方を被削歯車系  $S_B$  として(図1参照)、刃物歯車系  $S_C$  に属する刃物歯車対  $G_4, G_5$  および被削歯車系  $S_B$  に属する被削歯車対  $G_1, G_2$  が、共有される媒介歯車  $G_3$  と線接触噛合いをし、かつそれぞれの接触線  $C_C, C_B$  が、噛合い期間中、交点  $P$  を持ち続けるとする。このとき刃物歯車対  $G_4, G_5$  の各々によって被削歯車対  $G_1, G_2$  の各々に創成される曲面を  $F'_1, F'_2$  とすると、これらを新たな歯面とする被削歯車対  $G_1, G_2$  が点接触歯車対になることを述べた。この関係が、本論文における、点接触歯車対の構成法の基本構造である。この構造の全体を模式的に表わしたものを図1に示す。

### 第2章 点接触化のための条件

前章の構成法において考えられる、点接触化のための条件について調べた。まず媒介歯面を仲介にして各歯面の曲率関係を

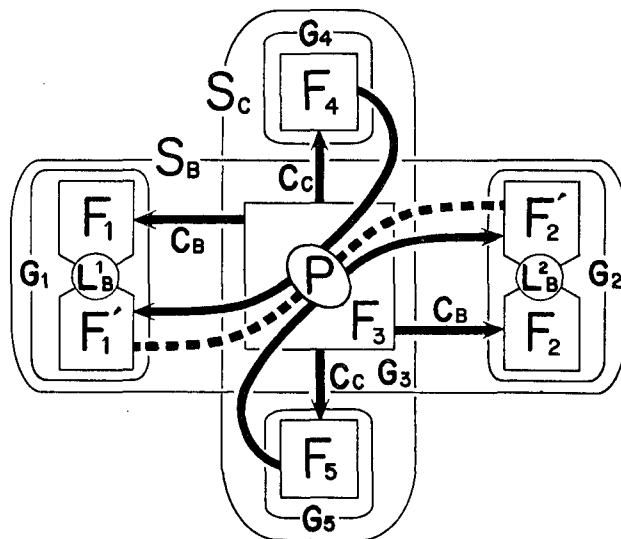


図1 媒介歯車を仲介とする構成法の基本構造

考察し、正しく点接触化するための歯面曲率に関する条件として次式を導いた。

$$R_{c\perp|c-3} \cdot R_{B-3} > 0.$$

式中の記号  $R_{c\perp|c-3}$  および  $R_{B\perp|B-3}$  は、各々、刃物歯車歯面および被削歯車原歯面<sup>\*</sup>の、媒介歯車歯面に対する相対曲率半径である。ただし、上式において等号が成立するとき、正しく点接触化できる場合もある。

次に、以下のふたつの場合について上式の条件をより具体化した。まず媒介歯面が先に与えられる場合には、被削歯車原歯面對の間に曲率干渉がなく、かつ原歯面對の一方が媒介歯面と曲率干渉を起していることが、確実な点接触化のための条件になる。また、刃物歯面が始めに与えられる場合には、まず仮定の媒介歯車を設け、これに対する刃物歯面および被削歯車原歯面の相対曲率半径の間で次式の成立することが条件になる。

$$R_{c\perp|5-3} \geq R_{c\perp|4-3} \geq 0, \text{ のとき } R_{B\perp|1-3} \geq R_{B\perp|2-3} \geq 0, \text{ (複号同順).}$$

ここに  $R_{c\perp|4-3}$  および  $R_{c\perp|5-3}$  は、各々、刃物歯車  $G_4$  および  $G_5$  の歯面の相対曲率半径である。また  $R_{B\perp|1-3}$  は、刃物歯車  $G_4$  で歯切りされる被削歯車  $G_1$  の原歯面の相対曲率半径、 $R_{B\perp|2-3}$  は、 $G_5$  で歯切りされる  $G_2$  の原歯面のそれである。

ところで、歯面曲率の条件は、被削歯面上に、噛合い接触点となるべき部分いわゆる触線を残すための必要条件にすぎない。そこで本章の後半において、歯面曲率の条件が成立しているときに、触線が残されることを確認するためのひとつの方法を、接触点 P の近傍における各歯面の出入りの幾何学的関係から導いた。

### 第 3 章 既存の研究に対する統括的再考

始めに和栗・安東の研究<sup>3)</sup>、次いで山田・明山の研究<sup>4)</sup>を考察し、本論文の観点からこれらの構成法を補足した。次に横田の研究を取りあげ、本論文の構成法との対応関係について略説した。さらに、最近の牧の研究<sup>5)</sup>を取りあげ、その点接触化法の構造を本論文の観点から見直した。最後にインボリュートねじ歯車対について考察し、この歯車対とインボリュートウォームギヤとの中間的存在の点接触歯車対について述べた。

応用編では、本論文の構成法をより具体化する目的で、簡単な問題に対して応用を試みた。応用例は、可展歯面鼓形ウォームギヤ<sup>6)</sup>の簡易点接触化法と、内歯車の簡易歯切り法に関するものである。いずれも加工方法の容易さをおもな目的にしている。

### 第 4 章 可展歯面鼓形ウォームギヤの点接触化

可展歯面鼓形ウォームギヤは、刃物歯車として使える媒介歯車がすでに与えられているので、構成法は単純になる。ホイールを歯切りする刃物歯車は、媒介歯車と線接触噛合いをし、歯面の実質側をウォームと同じくするものであればよい。本章が簡易点接触化法を目的とすることから、ここでは線接触噛合いのホイール歯面を創成するホブを用いる場合について考察した。そして、得られる点接触ウォームギヤの誤差鈍感性を、歯当り解析によって調べた。その結果、第 1 歯面でのみ噛合うように点接触化した場合に、より鈍感になることが明らかになった。

\* ) 被削歯車の、媒介歯面と線接触噛合いをする歯面。

## 第5章 点接触インボリュート内歯車の加工

この問題では、媒介歯車に相当する平面歯面を持つラックがすでに与えられているので、前章と同様に構成法は単純になり、刃物歯面形状はインボリュートヘリコイドになる。まず第2章で述べた諸条件について吟味したうえで、被削歯面の点接触化の程度と、刃物歯車の基本的な諸元の関係をまとめ、刃物歯車選択線図を作成した。また具体的に内歯車対の諸元を与えて刃物歯車を決定し、これによって切られた歯面について歯当り解析を行ない、非常に大幅な誤差鈍感性が得られることを明らかにした。

## 第6章 円筒歯面内歯車

円筒歯面内歯車は、歯車専用の工作機械がまったくない状況で遊星歯車装置を作することを想定し考え出した内歯車で、歯面として凹円筒面を、車軸の対しねじれの位置になるよう与えたものである。

まず、円筒歯面内歯車の噛合い性質を調べた。歯面が円筒面であるために、この歯車は、円弧歯形の歯車いわゆるWN歯車に似て、軸位置の誤差に敏感である。そこで相手歯車のピニオンを、内歯車の歯面円筒よりわずかに半径の小さな円筒面で創成し、この歯車対が点接触噛合いをするようにした。しかし、はすば歯車でないピニオンは、加工するのに特殊な創成装置を必要とする。そこで考え方を改め、この内歯車を、WN歯形の内歯車にクラウニングを施したものであるとみなし、WN歯形のピニオンと噛合わせることにした。この組み合わせには共役性がない。本章では共役性のない歯車の対を「葉車対」と名付けている。

ところで、WN歯車対では、凸歯形と凹歯形の半径をわずかに変えて点接触化し、その結果軸間距離に対する鈍感性が得られる。しかし軸の平行度の誤差に対しては無効である。平行度の誤差に対する鈍感性をも与えるためには、さらにクラウニングを施して葉車対としなければならなくなる。本章では、円筒歯面内葉車対が、WN歯形の内歯車対に比べ、角当りに関する誤差鈍感性の点で格段にすぐれていることを歯当り解析により明らかにした。さらに大きな誤差鈍感性を持つことを逆用して、フライス盤とスロットを用い、内葉車対のモデルを製作した。完成したモデルの写真を図2に示す。

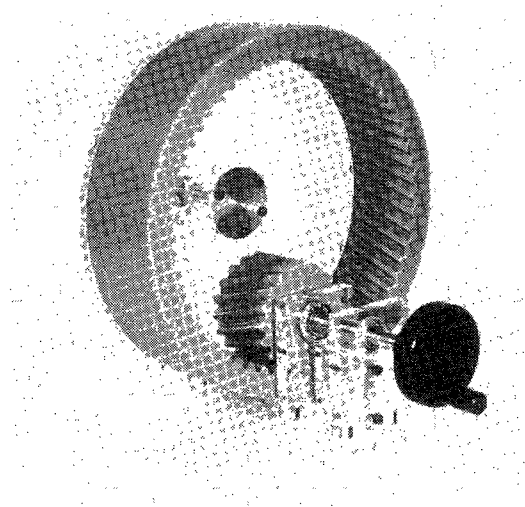


図2 円筒歯面内葉車対のモデル

論文要旨をおえるにあたり、本

研究に対し絶えず御指導と御鞭撻を下された東北大学教授，酒井高男博士，および本研究に関心をよせ，様々な御助言と御教示を賜った長谷川歯車の石川昌一氏に対し，深甚なる謝意を捧げます。

#### 参 考 文 献

- 1 酒 井；日本機械学会論文集，21-102(S30)，164.
- 2 横 田； “ ， 33-253(S42-9)，1491, 1503.
- 3 和栗・安東； “ ， 15-50(S24)，IV.
- 4 山田・明山；日本機械学会第30期総会講演前刷.
- 5 牧 ・ 他；日本機械学会論文集，47-420(S56-8)，1102.

## 審 査 結 果 の 要 旨

大きな負荷能力を期待される歯車には、一般に線接触をする歯面の対が想定される。しかし現実には、工作上の制限や、負荷による変形などによって、純理論的な線接触歯車の実現は困難である。線接触ではかえって片当りなどの障害を生ずる原因になりかねない。そこで実用歯車では、歯形に修整を与えたり、歯すじにそってクラウニングをつけたりして、むしろ点接触化の道をえらび、この障害をさけている。これらの歯形修整やクラウニングの程度については、各種歯車ごとの経験値に頼るところが多く、その与え方について、とくに空間歯車において統一的製作理論の確立が望まれている。

本論文は、このような事情のもとに、一般歯車に与えるべき誤差鈍感性を、とくに歯車製作法の立場から論じたもので、全編6章よりなる。

第1章は、本論文の基本的立場を述べたもので、著者の創案になる歯車空間の間の関係について論じている。すなわち、所望の点接触歯車系に対して、線接触歯車論におけるいわゆる媒介歯車を共通にもつ刃物歯車系なるものを導入し、これによって従来の歯車学になじみ深い線接触歯車理論との関係づけを行っている。

第2章では、前章をうけて、さらに吟味すべき接触点近傍における諸条件を、歯面間曲率との関係によって明らかにしている。

第3章では、点接触歯車として従来個別に扱われてきた既往の諸研究を取り上げ、本論文の立場からの説明を与えている。以上の3章が基礎編をなし、ついで応用編に入る。

第4章では、現行の可展歯面鼓形ウォームギヤの点接触化に本論文の方法を適用した具体例につき、歯当り解析によってその妥当性を検討している。

第5章では、インボリュート内歯車機構を点接触化するために著者の考案した一手法を示し、その歯当り状況を吟味している。

第6章では、同じく歯面に円筒面をもつ点接触内歯車機構を提案している。この歯車は著者の研究によって生れた独創的成果であって、本理論の有用性を示す一例となっている。

以上要するに、本論文は誤差鈍感性を与えるために必要な空間歯車の構成法につき、従来の歯車学になじみ深い線接触歯車理論との関連において論じたもので、歯車工作学に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。